

of the flowing medium. An evaluation electronics device (2) generates a highly precise measurement value ( $X_m$ ) from the measurement signals ( $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ ,  $x_{Re}$ ). This measurement value ( $X_m$ ) represents the mass through-flow. Said evaluation electronics device (2) also generates the measurement value ( $X_\rho$ ) from the measurement signals ( $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ ). This measurement value ( $X_\rho$ ) represents the current density of the medium.

### (57) Zusammenfassung

Dieser Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser soll bei möglichst kompakter Bauweise hochgenaue Meßergebnisse liefern, die unabhängig vom momentanen Geschwindigkeitsfeld des zu messenden Mediums sind. Hierzu umfaßt er mindestens ein Meßrohr (11), das vom Medium durchströmt ist und im Betrieb in Schwingungen versetzt wird. Ein Meßmittel (141) zum Messen der Schwingungen ist einlaßseitig am Meßrohr (11) angeordnet und liefert ein Meßsignal ( $x_{s1}$ ). Ein Meßmittel (142) zum Messen der Schwingungen ist auslaßseitig am Meßrohr (11) angeordnet und liefert ein Meßsignal ( $x_{s2}$ ). Ein Meßmittel (143) liefert ein die momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierendes Meßsignal ( $x_{Re}$ ). Eine Auswerte-Elektronik (2) bildet aus den Meßsignalen ( $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ ,  $x_{Re}$ ) den den Massedurchfluß repräsentierenden hochgenauen Meßwert ( $X_m$ ) sowie aus den Meßsignalen ( $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ ) den die momentane Dichte des Mediums repräsentierenden Meßwert ( $X_\rho$ ).

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

**Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser**

Die Erfindung betrifft einen Coriolis-Massedurchfluß-/  
Dichtemesser für ein in einer Rohrleitung strömendes  
Medium sowie ein Verfahren zum Erzeugen eines einen  
5 Massedurchfluß repräsentierenden Meßwerts.

Bei Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern für ein in  
einer Rohrleitung strömendes Medium beruht die Messung des  
Massedurchflusses bekanntlich darauf, daß ein Medium durch  
10 mindestens ein in die Rohrleitung eingefügtes und im  
Betrieb schwingendes Meßrohr strömt, wodurch das Medium  
Corioliskräfte erfährt. Diese bewirken, daß einlaßseitige  
und auslaßseitige Bereiche des Meßrohrs zueinander  
phasenverschoben schwingen. Die Größe dieser  
15 Phasenverschiebungen ist ein Maß für den Massedurchfluß.  
Die Schwingungen des Meßrohrs werden daher mittels zweier  
entlang des Meßrohres voneinander beabstandeter  
Schwingungssensoren erfaßt und in Meßsignale gewandelt,  
aus deren gegenseitiger Phasenverschiebung der  
20 Massedurchfluß abgeleitet wird.

In der US-A 41 87 721 ist ein Coriolis-  
Massedurchflußmesser für ein in einer Rohrleitung  
strömendes Medium beschrieben, der umfaßt:  
25 - ein einziges U-förmig gebogenes Meßrohr, das im Betrieb  
vom Medium durchströmt ist,  
- ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und an  
einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und  
dieses somit schwingfähig einspannt,  
30 - eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in  
Schwingungen versetzt,

- ein erstes Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
  - einlaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
  - ein erstes Meßsignal liefert,
- ein zweites Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
  - 5 -- auslaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
  - ein zweites Meßsignal liefert, und
- eine Auswerte-Elektronik,
  - die einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal
  - abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden
  - 10 Meßwert liefert.

Ferner ist in der EP-A 849 568 ein Coriolis-Massedurchflußmesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium beschrieben, der umfaßt:

- 15 - ein einziges gerades Meßrohr, das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
- 20 - eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in Schwingungen versetzt,
- ein erstes Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
  - einlaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
  - ein erstes Meßsignal liefert,
- 25 - ein zweites Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
  - auslaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
  - ein zweites Meßsignal liefert, und
- eine Auswerte-Elektronik,
  - die einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal
  - 30 abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden Meßwert liefert.

Des weiteren ist in den US-A 46 60 421 und US-A 47 33 569 jeweils ein Coriolis-Massedurchflußmesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium beschrieben, der umfaßt:

- ein schraubenförmig gebogenes Meßrohr, das im Betrieb vom  
5 Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
- eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in  
10 Schwingungen versetzt,
- ein erstes Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das -- einlaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und -- ein erstes Meßsignal liefert,
- ein zweites Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das  
15 -- auslaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und -- ein zweites Meßsignal liefert, und
- eine Auswerte-Elektronik, -- die einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden  
20 Meßwert liefert.

Ferner ist in der US-A 44 91 025, in der US-A 46 60 421 sowie in der US-A 52 18 873 jeweils ein Coriolis-Massedurchflußmesser für ein in einer Rohrleitung  
25 strömendes Medium mit zwei kommunizierenden Meßrohren beschrieben, die im Betrieb vom Medium durchströmt sind. Diese Meßrohre sind mittels eines einlaßseitigen ersten Verteilerstücks mit einem einlaßseitigen ersten Ende und mittels eines auslaßseitigen zweiten Verteilerstücks  
30 auslaßseitigen zweiten Ende miteinander verbunden und in einem Trägermittel schwingfähig eingespannt.

Schon die eingangs referierte US-A 41 87 721 - wie auch die EP-A 849 568 - erwähnen, daß mit Coriolis-

Massedurchflußmessern immer auch die momentane Dichte des strömenden Mediums meßbar ist. Für die Erfindung wird daher vorausgesetzt, daß die oben nur als Coriolis-Massedurchflußmesser referierten Geräte auch die momentane

5 Dichte messen, obwohl dies, da selbstverständlich, von den einzelnen Dokumenten nicht immer beschrieben wird.

Bei Coriolis-Massedurchflußmessern bzw. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern ist das Verhältnis  $D/L$  der

10 Weite  $D$  des Meßrohr zu dessen Länge  $L$  für die Meßgenauigkeit von Bedeutung, wobei die Weite  $D$  bei Verwendung eines einzigen Meßrohrs praktisch gleich der Nennweite der angeschlossenen Rohrleitung ist.

15 Bei einem Verhältnis  $D/L$  von größer als etwa 0,05 kann das momentane Geschwindigkeitsfeld des Mediums im Meßrohr die Genauigkeit des Meßergebnisses so beeinträchtigen, daß der daraus resultierende erhöhte Meßfehler ggf. nicht mehr vernachlässigbar klein ist. Messungen haben ergeben, daß

20 bei Verhältnissen  $D/L$  größer als 0,05 dieser Einfluß des Geschwindigkeitsfelds einen zusätzlichen Meßfehler von einigen Promille bis zu einem Prozent bewirken kann.

Der Minimierung des Verhältnisses  $D/L$  sind jedoch

25 konstruktionsbedingte Grenzen gesetzt, nämlich einerseits wegen der in einem konkreten Anwendungsfall fest vorgegebenen Nennweite der Rohrleitung und andererseits wegen der Forderung nach möglichst kurzen und kompakten Geräten.

30 Eine Aufgabe der Erfindung ist es, einen Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser anzugeben, der bei möglichst kompakter Bauweise hochgenaue Meßergebnisse liefert, unabhängig vom momentanen Geschwindigkeitsfeld. Eine

weitere Aufgabe besteht darin, ein entsprechendes Verfahren für die Erzeugung des Meßergebnisses anzugeben.

- Zur Lösung dieser Aufgabe besteht die Erfindung in einem
- 5 Coriolis-Massedurchfluß-/ Dichtemesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium, der umfaßt:
- mindestens ein Meßrohr, das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
  - ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und  
10 einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
  - eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in Schwingungen versetzt,
  - ein erstes Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das  
15 -- einlaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und -- ein erstes Meßsignal liefert,
  - ein zweites Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das -- auslaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und -- ein zweites Meßsignal liefert,
  - 20 - ein drittes Meßmittel, -- das ein die momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierendes drittes Meßsignal liefert, und
  - eine Auswerte-Elektronik,
  - 25 -- die einen vom ersten, vom zweiten und vom dritten Meßsignal abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden ersten Meßwert sowie
  - einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal abgeleiteten, eine momentane Dichte des Mediums  
30 repräsentierenden zweiten Meßwert liefert.

Ferner besteht die Erfindung in einem Verfahren zum Erzeugen eines einen Massedurchfluß repräsentierenden ersten Meßwerts mittels eines Coriolis-Massedurchfluß-/

Dichtemesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium, der umfaßt:

- mindestens ein Meßrohr, das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
  - 5 - ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt, und
  - eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in Schwingungen versetzt, und
- 10 welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:
- Erfassen der Schwingungen des Meßrohrs und Erzeugen eines einlaßseitige Schwingungen repräsentierenden ersten Meßsignals und eines auslaßseitige Schwingungen repräsentierenden zweiten Meßsignals zum Entwickeln eines
  - 15 einen unkorrigierten Massedurchfluß repräsentierenden Zwischenwertes,
  - Erzeugen eines eine momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierenden dritten Meßsignals mittels des Zwischenwertes und mittels eines eine
  - 20 dynamische Viskosität des Mediums repräsentierenden vierten Meßsignals sowie
  - Korrigieren des Zwischenwertes mittels eines vom dritten Meßsignal abgeleiteten Korrekturwertes.
- 25 Nach einer ersten Ausgestaltung der Erfindung liefert die Auswerte-Elektronik einen vom dritten Meßsignal abgeleiteten Korrekturwert.

Nach einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung liefert die

30 Auswerte-Elektronik den Korrekturwert mittels eines durch Kalibrierung ermittelten konstanten Korrekturwerts für laminare Strömung, mittels eines durch Kalibrierung ermittelten konstanten Korrekturwerts für turbulente Strömung und mittels eines nach einer zwischen den beiden



konstanten Korrekturwerten liegenden Interpolations-  
Funktion ermittelten interpolierten Korrekturwerts.

5 Nach einer dritten Ausgestaltung der Erfindung weist die  
Auswerte-Elektronik einen Tabellenspeicher auf, in dem von  
der Reynolds-Zahl abhängige digitalisierte Korrekturwerte  
abgelegt sind, und der mittels einer aufgrund des dritten  
Meßsignals gebildeten digitalen Speicherzugriffsadresse  
den Korrekturwert liefert.

10

Nach einer vierten Ausgestaltung der Erfindung liefert die  
Auswerte-Elektronik einen vom ersten und vom zweiten  
Meßsignal abgeleiteten, einen unkorrigierten  
Massedurchfluß repräsentierenden Zwischenwert.

15

Nach einer fünften Ausgestaltung der Erfindung liefert die  
Auswerte-Elektronik den ersten Meßwert aufgrund des  
Zwischenwerts und des Korrekturwerts.

20 Nach einer sechsten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt der  
Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser ein viertes  
Meßmittel, das eine dynamische Viskosität des Mediums  
erfaßt und ein diese repräsentierendes viertes Meßsignal  
liefert.

25

Nach einer siebenten Ausgestaltung der Erfindung liefert  
das dritte Meßmittel das dritte Meßsignal aufgrund des  
unkorrigierten Zwischenwerts und des vierten Meßsignals.

30 Nach einer achten Ausgestaltung der Erfindung erfaßt das  
vierte Meßmittel eine kinematische Viskosität des Mediums  
und liefert ein diese repräsentierendes fünftes Meßsignal.

Nach einer neunten Ausgestaltung der Erfindung liefert das vierte Meßmittel das vierte Meßsignal aufgrund des zweiten Meßwert und des fünften Meßsignal.

- 5 Nach einer zehnten Ausgestaltung der Erfindung weist die Erregeranordnung eine Spule auf, die mit einer Erregerenergie gespeist ist und von deren Strom und/oder von deren Spannung leitet das vierte Meßmittel das vierte bzw. das fünfte Meßsignal ab.

10

Nach einer elften Ausgestaltung der Erfindung leitet das vierte Meßmittel das vierte bzw. das fünfte Meßsignal von einer entlang der Rohrleitung gemessenen Druckdifferenz ab.

15

Nach einer ersten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung, wird das vierte Meßsignal von einem Strom und/oder von einer Spannung einer in die Erregeranordnung eingespeisten Erregerenergie abgeleitet.

20

Nach einer zweiten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung, wird das vierte Meßsignal von einer entlang der Rohrleitung gemessenen Druckdifferenz abgeleitet.

25

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß der Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser auch bei einem Verhältnis  $D/L$  größer 0,05 einen Massedurchflußwert liefert, bei dem der Einfluß des momentanen Geschwindigkeitsfelds auf die

- 30 Meßgenauigkeit kompensiert ist.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Gleiche Teile sind in allen Figuren mit

denselben Bezugszeichen versehen; wenn es die Übersichtlichkeit erfordert, wird auf bereits erwähnte Bezugszeichen in nachfolgenden Figuren verzichtet.

- 5    Fig. 1        zeigt schematisch einen Massedurchflußaufnehmer  
                 eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers in  
                 einer vertikal teilweise geschnittenen  
                 Längsansicht;
- 10   Fig. 2        zeigt schematisch nach Art eines  
                 Blockschalbildes Teilschaltungen der  
                 Auswertelektronik des Coriolis-Massedurchfluß-  
                 /Dichtemessers, die der Erhöhung der  
                 Meßgenauigkeit des ermittelten Massedurchflusses  
15                dienen;
- Fig. 3        zeigt schematisch nach Art eines  
                 Blockschalbildes eine Teilschaltung, die dazu  
                 dient, aus einem unkorrigiert ermittelten  
20                Meßwert für den Massedurchfluß mittels eines  
                 Korrekturwerts einen korrigierten Meßwert für  
                 den Massedurchfluß zu erzeugen;
- Fig. 4        zeigt schematisch nach Art eines  
25                Blockschalbildes eine Teilschaltung, die aus  
                 einer gemessenen Reynolds-Zahl des Mediums einen  
                 Korrekturwert für den Massedurchfluß erzeugt;
- Fig. 5        zeigt schematisch nach Art eines  
30                Blockschalbildes eine Teilschaltung, die einen  
                 Korrekturwert für den Massedurchfluß nach einer  
                 Interpolations-Funktion erzeugt;

- Fig. 6a zeigt schematisch nach Art eines Blockschalbildes eine Teilschaltung, die aus einer gemessenen dynamischen Viskosität des Mediums die Reynolds-Zahl bestimmt;
- 5
- Fig. 6b zeigt schematisch nach Art eines Blockschalbildes Teilschaltung, die aus einer gemessenen kinematischen Viskosität des Mediums die Reynolds-Zahl bestimmt;
- 10
- Fig. 7 zeigt schematisch nach Art eines Blockschalbildes eine Teilschaltung, die aus einer gemessenen Erregungsenergie der Erregeranordnung die kinematischen Viskosität des Mediums bestimmt;
- 15
- Fig. 8a zeigt schematisch nach Art eines Blockschalbildes eine Teilschaltung, die aus einer in Strömungsrichtung gemessenen Druckdifferenz Meßwerte für die kinematische Viskosität bei laminarer Strömung erzeugt;
- 20
- Fig. 8b zeigt schematisch nach Art eines Blockschalbildes eine Teilschaltung, die aus einer in Strömungsrichtung gemessenen Druckdifferenz Meßwerte für die kinematische Viskosität bei turbulenter Strömung erzeugt;
- 25
- Fig. 9 zeigt schematisch nach Art eines Blockschalbildes eine Teilschaltung, die die momentane kinematische Viskosität des Mediums bestimmt.
- 30

In Fig. 1 ist in einer vertikal teilweise geschnittenen Längsansicht ein Massedurchflußaufnehmer 1 eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers mit einem einzigen geraden Meßrohr 11 dargestellt, das ein einlaßseitiges erstes  
5 Meßbrohrende und ein auslaßseitiges zweites Meßbrohrende aufweist.

Am ersten Meßbrohrende ist ein erster Flansch 111 und am zweiten Meßbrohrende ist ein zweiter Flansch 112  
10 angebracht, mittels denen der Massedurchflußaufnehmer 1 in eine im Betrieb von einem Medium durchströmte, nicht dargestellte, Rohrleitung, insb. druckdicht, eingefügt ist.

Der Massedurchflußaufnehmer 1 umfaßt weiterhin ein  
15 Trägermittel 12, mit einer am ersten Meßbrohrende fixierten ersten Endplatte 121, mit einer am zweiten Meßbrohrende fixierten zweite Endplatte 122 und mit einem zwischen die erste und die zweite Endplatte 121, 122 eingefügten  
Trägerrohr 123. Die beiden Endplatten 121, 122 sind mit  
20 dem Meßrohr 11 sowie mit dem Trägerrohr 123 starr und druckdicht, insb. vakuumdicht verbunden. Das Meßrohr 11 verläuft somit freitragend in einem Lumen des Trägerrohrs 123 zwischen den Endplatten 121, 122 und kann somit in Schwingungen versetzt werden.

25 Die Verbindungen des Meßrohrs 11 mit den Endplatten 121, 122 und mit den Flanschen 111, 112 bzw. die Verbindungen der Endplatten 121, 122 mit dem Trägerrohr 123 können z.B. Schweiß- oder Lötverbindungen sein; die Endplatten 121,  
30 122 können am Trägerrohr 123 aber auch durch Schraubverbindungen, von denen eine Schraubverbindung 124 stellvertretend dargestellt ist, befestigt sein. Des weiteren ist es möglich die beiden Endplatten 121, 122 mit dem Trägerrohr 123 einstückig auszubilden.

Anstatt des in Fig. 1 dargestellten  
Massedurchflußaufnehmers 1 sind auch  
Massedurchflußaufnehmer mit zwei geraden Meßrohren üblich.

5

Anstelle gerader Meßrohre können aber auch alle anderen,  
bei Coriolis-Massedurchfluß-/ Dichtemessern beschriebenen  
Formen von Meßrohren verwendet werden, insb. U- oder  
omega-förmig ausladende oder schraubenförmig gebogene  
10 Meßrohre. Ferner sind auch mehrere, insb. zwei,  
hinsichtlich der Strömung des Mediums parallel- oder in  
Serie geschaltete Meßrohre verwendbar. Bei  
parallelgeschalteten Meßrohren weisen die Enden zusätzlich  
noch entsprechende Verteilerstücke auf, die der Aufteilung  
15 bzw. der Zusammenführung des strömenden Mediums dienen.

Medium kann jeder strömungsfähige Stoff sein, insb.  
Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe.

20 Die Meßrohre sind bevorzugt aus Titan, Zirkonium oder Edel-  
Stahl gefertigt.

In Fig. 1 ist weiterhin eine Erregeranordnung 13 gezeigt,  
die innerhalb des Trägermittels 12 zwischen Meßrohr 11 und  
25 Trägerrohr 123 bevorzugt in der Mitte zwischen der ersten  
und der zweiten Endplatte 121, 122 angebracht ist. Diese  
Erregeranordnung 13 versetzt das Meßrohr 11 im Betrieb in  
Schwingungen bei einer mechanischen Resonanzfrequenz, die  
wiederum ein Maß für die momentane Dichte des Mediums ist.

30

Die Erregeranordnung 13 kann z.B. eine Tauchanker-  
Spulenanordnung sein, die einen am Meßrohr 11 befestigten  
weichmagnetischen Spulenkern mit einem eingelagerten  
Dauermagneten und eine am Trägerrohr 123 befestigte, im

Betrieb von einem zeitlich veränderlichen Erregerstrom durchflossene Spule umfaßt, wobei der Dauermagnet in die Spule eintaucht. Durch die Wirkung des zeitlich veränderlichen Erregerstroms wird der Dauermagnet bewegt und damit das Meßrohr 11 in Schwingungen versetzt, wobei der einlaßseitige Bereich und der auslaßseitige Bereich bei hindurchströmendem Medium zueinander phasenverschoben schwingen.

- 10 Als ein Beispiel für eine dem Antreiben der Erregeranordnung 13 dienende Erreger-Elektronik wird auf die US-A 48 01 897 hingewiesen.

Bei geraden Meßrohren sind die Schwingungen meist Biegeschwingungen, die den Schwingungen einer Saite vergleichbar sind. Diesen Biegeschwingungen können außerdem Torsionsschwingungen überlagert sein, vgl. EP-A 849 568. Neben den genannten Biege-/Torsionsschwingungen sind jedoch auch Hoop-Mode-Schwingungen üblich, bei denen sich das Meßrohr peristaltisch bewegt, vgl. die US-A 49 49 583.

Bei U- oder omega-förmigen Meßrohren sind die Schwingungen Ausleger-Schwingungen, die denen einer Stimmgabel vergleichbar sind, vgl. US-A 41 87 721

Innerhalb des Trägermittels 12 sind zwischen Meßrohr 11 und Trägerrohr 123 entlang des Meßrohrs 11 voneinander beabstandet ein erstes Meßmittel 141 und ein zweites Meßmittel 142 zum Messen der Schwingungen angeordnet. Die Meßmittel 141, 142 sind bevorzugt von der Mitte des Meßrohrs 11 gleich weit entfernt angebracht und liefern ein erstes bzw. zweites die Schwingungen repräsentierendes Meßsignal  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ .

Die Meßmittel 141, 142 weisen dazu Schwingungsaufnehmer auf, die gemäß der US-A 57 36 653 bevorzugt als elektrodynamische Schwingungsaufnehmer ausgeführt sind; 5 sie können aber auch als optische Schwingungsaufnehmer ausgeführt sein, vgl. die US-A 48 01 897.

Der Massedurchflûßaufnehmer 1 ist gegenüber Umgebungseinflüssen durch ein Aufnehmer-Gehäuse 15 10 geschützt. Dieses ist so ausgeführt, daß sowohl das Trägermittel 12 als auch alle am Massedurchflûßaufnehmer 1 angeschlossenen elektrischen Verbindungsleitungen darin untergebracht sind; letztere sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

15 Das Aufnehmer-Gehäuse 15 ist mit einem halsartigen Übergangsstück 16 versehen, an dem ein Elektronik-Gehäuse 17 fixiert ist.

20 Im Elektronik-Gehäuse 17 sind sowohl die bereits erwähnte Erreger-Elektronik als auch eine Auswerte-Elektronik 2 sowie weitere, dem Betreiben des Coriolis-Massedurchflûß-/ Dichtemessers dienende Schaltungsanordnungen, untergebracht. Derartige Schaltungsanordnungen können z.B. 25 eine von einer externen Energiequelle gespeiste Versorgungs-Elektronik zur internen Energieversorgung des Coriolis-Massedurchflûß-/ Dichtemessers und/oder eine Kommunikations-Elektronik zur Übertragung von Daten, z.B. Meß- und/oder Gerätedaten, zwischen dem Coriolis- 30 Massedurchflûß-/ Dichtemesser und einer externen Signalverarbeitungseinheit sein.

Bei einer ggf. ungünstigen Beeinflussung des Schwingungsverhaltens des Massedurchflûßaufnehmers 1 durch



das Elektronik-Gehäuse 17, kann dieses auch getrennt vom Massedurchflußaufnehmer 1 angeordnet werden. Dann besteht lediglich eine elektrische Verbindungsleitung zwischen Elektronik-Gehäuse 17 und Massedurchflußaufnehmer 1, so  
5 daß beide praktisch voneinander vibrations-entkoppelt sind.

In Fig. 2 sind nach Art eines Blockschaltbildes Teilschaltungen der Auswerte-Elektronik 2 des Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers dargestellt, die der  
10 Erzeugung eines den Massedurchfluß repräsentierenden ersten Meßwerts  $X_m$  dienen.

Gemäß Fig. 2 sind die Meßsignale  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$  einer Meßschaltung  
15 21 der Auswerte-Elektronik 2 zugeführt. Als Meßschaltung 21 kann z.B. die in der US-A 56 48 616 beschriebene Auswerte-Elektronik eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers dienen, die z.B. unter Verwendung einer Erregerschaltung entsprechend der US-A 48 01 897 einen  
20 Massedurchflußwert ermittelt. Selbstverständlich können auch andere dem Fachmann bekannte Auswerte-Elektroniken für Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser verwendet werden.

25 Der von der Meßschaltung 21 ermittelte Massedurchflußwert ist jedoch bei großen Verhältnissen D/L noch nicht ausreichend genau und muß dementsprechend korrigiert werden; er wird daher im folgenden als Zwischenwert  $X_m^*$  bezeichnet, aus dem wiederum der den Massedurchfluß  
30 ausreichend genau repräsentierender Meßwert  $X_m$  abgeleitet ist.

Die Korrektur des Zwischenwerts  $X_m^*$  geht auf im folgenden beschriebene Erkenntnisse der Erfinder zurück.

Der Massedurchfluß im Meßrohr 11 ist durch nachstehende Gleichung gegeben:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot v_m \quad (1)$$

5

Darin sind:

- $dQ/dt$       der Massedurchfluß,  
 $D$             die Weite des Meßrohrs 11,  
 $\rho$             die momentane Dichte des Mediums und  
 10  $v_m$         die mittlere Geschwindigkeit des strömenden  
               Mediums im Meßrohr 11.

- Die mittlere Geschwindigkeit  $v_m$  ist die arithmetische  
 Mittelung aller Geschwindigkeitsvektoren des strömenden  
 15 Mediums über einer Querschnittsfläche des Meßrohrs 11.

Für den Zwischenwert  $X^*_m$  eines Coriolis-Massedurchfluß-/  
 Dichtemessers gilt:

$$X^*_m = K_1 \cdot \frac{X_\phi}{X_f} \quad (2)$$

20

Darin sind:

- $X_f$             ein die momentane Frequenz der Schwingungen des  
               Meßrohrs 11 repräsentierender Meßwert,  
 $X_\phi$             ein die momentane Phasenverschiebung zwischen  
 25 dem ersten und dem zweiten Meßsignal  $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$   
               repräsentierender Meßwert und  
 $K_1$             ein erster Parameter des Coriolis-  
               Massedurchfluß-/Dichtemessers.

Der Parameter  $K_1$  ist in erster Linie von der momentanen Temperatur des Mediums abhängig; er kann ferner auch noch von der momentanen Dichte des Mediums abhängig sein.

- 5 Für Gl.(2) wird vorausgesetzt, daß die den Parameter  $K_1$  bestimmenden Eigenschaften des Mediums, nämlich die momentane Temperatur und die momentane Dichte, bekannt sind, da sie ebenfalls beim Betrieb von Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern gemessen werden, vgl. für  
10 die Messung der momentanen Temperatur die US-A 47 68 384 und für die Messung der momentanen Dichte die US-A 41 87 721.

- Für Gl.(2) wird weiterhin angenommen, daß die durch die  
15 Coriolis-Kräfte verursachte Phasenverschiebung zwischen einer einlaßseitig erfaßten und einer auslaßseitig erfaßten Schwingung des Meßrohrs 11 proportional zum momentanen Massedurchfluß ist. Diese Annahme setzt voraus, daß alle im Meßrohr 11 auftretenden Geschwindigkeitsfelder  
20 bei gleichem momentanen Massedurchfluß gleiche Coriolis-Kräfte bewirken. Dies trifft umso genauer zu, je kleiner das Verhältnis  $D/L$  ist, da in diesem Fall alle Geschwindigkeitsfelder einander gleich oder zumindest sehr  
25 ähnlich sind. Bei großen Verhältnissen  $D/L$ , insb. größer 0,05, trifft diese Annahme immer schlechter zu und führt zu einem Zwischenwert  $X_m^*$ , der eine immer geringer werdende Meßgenauigkeit aufweist.

- Untersuchungen haben ergeben, daß der Wert der  
30 entsprechenden Meßgenauigkeit insb. davon abhängt, ob die Strömung des Mediums laminar oder turbulent ist.

Somit kann zur Ermittlung des Meßwerts  $X_m$  eine Korrektur des Zwischenwerts  $X_m^*$  dadurch vorgenommen werden, daß das Vorhandensein laminarer bzw. turbulenter Strömung im Meßrohr 11 ermittelt und in einem Korrekturwert  $X_K$  für den  
 5 Zwischenwert  $X_m^*$  berücksichtigt wird. Durch eine entsprechende Modifizierung von Gl.(2) gilt für den Meßwert  $X_m$ :

$$X_m = (1 + X_K) \cdot K_1 \cdot \frac{X_o}{X_f} = (1 + X_K) \cdot X_m^* \quad (3)$$

10 Die Gl.(3) ist mit einer zweiten Teilschaltung 22 der Auswerte-Elektronik 2 realisiert, die in Fig. 3 nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt ist.

Die Teilschaltung 22 umfaßt einen ersten Addierer 221, mit  
 15 dem ein erster Summen-Wert für  $1+X_K$  aus dem Korrekturwert  $X_K$  an einem ersten Eingang und aus einem Wert für eins an einem zweiten Eingang gebildet und an einem Ausgang ausgegeben wird.

20 Des weiteren umfaßt die zweite Teilschaltung 22 einen ersten Multiplizierer 222 mit einem ersten Eingang für den ersten Summen-Wert und einem zweiten Eingang für den Zwischenwert  $X_m^*$ . Der Multiplizierer 222 liefert an einem Ausgang einen ersten Produkt-Wert für  $(1+X_K) \cdot X_m^*$ , der dem  
 25 Meßwert  $X_m$  entspricht.

Der Korrekturwert  $X_K$  wird bei der Erfindung aus der momentanen Reynolds-Zahl des Mediums abgeleitet, die eine das Geschwindigkeitsfeld des strömenden Mediums eindeutig  
 30 beschreibende Größe ist. Dementsprechend weist der Massedurchflußaufnehmer 1 ein drittes Meßmittel 143 zum Messen der momentanen Reynolds-Zahl des Mediums auf, vgl.

Fig. 2. Das Meßmittel 143 liefert ein die Reynolds-Zahl repräsentierendes drittes Meßsignal  $x_{Re}$  und führt es der Auswerte-Elektronik 2 zu.

- 5 Die Werte des Meßsignal  $x_{Re}$  sind bei laminarer Strömung kleiner als bei turbulenter. Für jede Weite D des Meßrohrs 11 und der zugehörigen Nennweite der bereits erwähnten Rohrleitung existieren somit ein oberer Grenzwert der Reynolds-Zahl für laminare und ein unterer Grenzwert der  
10 Reynolds-Zahl für turbulente Strömungen, welche beiden Grenzwerte nicht identisch sind. Diese beiden Grenzwerte werden während des Kalibrierens ermittelt.

- Der beim Kalibrieren ermittelte obere Grenzwert der  
15 Reynolds-Zahl für laminare Strömung ist durch einen zweiten Parameter  $K_2$  repräsentiert, der in der Auswerte-Elektronik 2 abgespeichert wird. Der beim Kalibrieren ermittelte untere Grenzwert der Reynolds-Zahl für turbulente Strömung ist durch einen dritten Parameter  $K_3$   
20 repräsentiert, der in der Auswerte-Elektronik 2 abgespeichert wird.

- Ein Vergleich des Meßsignal  $x_{Re}$  mit diesen beiden Parametern  $K_2$ ,  $K_3$  ergibt, ob laminare oder turbulente  
25 Strömung im Meßrohr 11 vorliegt, und liefert einen entsprechenden Korrekturwert  $X_K$ . Diesem Vergleich liegen folgende Ungleichungen zugrunde:

$$X_K = \begin{cases} X_{K2} & \text{für } x_{Re} < K_2 \\ f(x_{Re}) & \text{für } K_2 \leq x_{Re} \leq K_3 \\ X_{K3} & \text{für } K_3 < x_{Re} \end{cases} \quad (4)$$

- 30 Darin sind:

$X_{K2}$  ein durch die Kalibrierung ermittelter konstanter Korrekturwert für laminare Strömung,

- $X_{K3}$  ein durch die Kalibrierung ermittelter konstanter Korrekturwert für turbulente Strömung und
- $f(x_{Re})$  eine von  $X_{K2}$  nach  $X_{K3}$  monoton wachsende
- 5 Interpolations-Funktion, deren Verlauf eingestellt werden kann, s.u..

Das Ergebnis des Vergleiches des Meßsignals  $x_{Re}$  mit den beiden Parametern  $K_2$ ,  $K_3$  gemäß Gl.(4) ist ein Korrekturwert

10  $X_K = X_{K2}$  für laminare Strömung, ein Korrekturwert  $X_K = X_{K3}$  für turbulente Strömung oder ein der Interpolations-Funktion  $f(x_{Re})$  entsprechender interpolierter Korrekturwert  $X_K = f(x_{Re})$ .

- 15 Die Gl.(4) ist mittels einer dritten Teilschaltung 23 realisiert, deren einzelne Funktionselemente in Fig. 4 nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt sind.

Die Teilschaltung 23 umfaßt einen ersten Komparator 231

20 mit einem Referenz-Eingang für den Parameter  $K_2$  und mit einem Signal-Eingang für das Meßsignal  $x_{Re}$ . Der Komparator 231 gibt einen binären ersten Vergleichs-Wert für  $x_{Re} < K_2$  ab, der gleich eins ist, wenn ein momentaner Wert des Meßsignals  $x_{Re}$  kleiner als der Wert des Parameters  $K_2$  ist;

25 anderenfalls ist der erste Vergleichs-Wert gleich null. Der erste Vergleichs-Wert ist einem ersten Eingang eines zweiten Multiplizierers 232 zugeführt. An einem zweiten Eingang dieses Multiplizierers 232 liegt der konstante Korrekturwert für laminare Strömung  $X_{K2}$ .

30 Weiterhin umfaßt die Teilschaltung 23 einen zweiten Komparator 233 mit einem Referenz-Eingang für den Parameter  $K_3$  und mit einem Signal-Eingang für das Meßsignal  $x_{Re}$ . Der Komparator gibt an einem Ausgang einen binären

zweiten Vergleichs-Wert für  $x_{Re} > K_3$  ab, der gleich eins ist, wenn der momentane Wert des Meßsignals  $x_{Re}$  größer als der Wert des Parameters  $K_3$  ist; anderenfalls ist der zweite Vergleichs-Wert gleich null.

5

Der zweite Vergleichs-Wert ist einem ersten Eingang eines dritten Multiplizierers 234 zugeführt. An einem zweiten Eingang des Multiplizierers 234 liegt der konstante Korrekturwert für turbulente Strömung  $X_{K3}$ .

10

Ferner umfaßt die Teilschaltung 23 ein NOR-Gatter 235 mit einem ersten Eingang für den ersten und mit einem zweiten Eingang für den zweiten Vergleichs-Wert. Das NOR-Gatter 235 liefert einen binären dritten Vergleichs-Wert

15 entsprechend  $K_2 \leq x_{Re} \leq K_3$ , der gleich eins ist, wenn der erste und der zweite Vergleichs-Wert gleich null sind; anderenfalls ist der dritte Vergleichs-Wert gleich null.

Mit einem dem NOR-Gatter 235 nachgeschalteten Inverter 236  
20 wird aus dem dritten Vergleichs-Wert ein zu diesem invertierter vierter Vergleichs-Wert gebildet, der einem dritten Eingang des Multiplizierers 232 und einem dritten Eingang des Multiplizierers 234 zugeführt ist.

25 Somit liefert der Multiplizierer 232 einen zweiten Produkt-Wert, der gleich dem konstanten Korrekturwert  $X_{K2}$  für laminare Strömung ist, wenn der erste und der vierte Vergleichs-Wert gleich eins sind; anderenfalls ist der zweite Produkt-Wert gleich null. Analog dazu liefert der  
30 Multiplizierer 234 einen dritten Produkt-Wert, der gleich dem konstanten Korrekturwert  $X_{K3}$  für turbulente Strömung ist, wenn der zweite und der vierte Vergleichs-Wert gleich eins sind; anderenfalls ist der dritte Produkt-Wert gleich null.

Der der Interpolations-Funktion  $f(x_{Re})$  entsprechenden interpolierte Korrekturwert, dessen Bildung weiter unten beschrieben wird, ist einem ersten Eingang eines vierten Multiplizierers 237 zugeführt. Der dritte Vergleichs-Wert liegt an einem zweiten Eingang des Multiplizierers 237, so daß dieser einen vierten Produkt-Wert abgibt, der gleich dem Korrekturwert  $X_k$  ist, wenn der dritte Vergleichs-Wert gleich eins ist; ist der dritte Vergleichs-Wert gleich null, so ist der vierte Produkt-Wert ebenfalls gleich null.

Der zweite, der dritte bzw. der vierte Produkt-Wert sind einem ersten, zweiten bzw. einem dritten Eingang eines zweiten Addierers 238 zugeführt, der einen zweiten Summen-Wert liefert. Da gleichzeitig immer nur entweder der zweite oder der dritte oder der vierte Produkt-Wert ungleich null ist, entspricht der zweite Summen-Wert dem gesuchten Korrekturwert  $X_k$ .

20

Der Korrekturwert  $X_k$  kann aber auch mittels einer in der Teilschaltung 23 vorgesehenen Fuzzy-Logic generiert werden. Dazu werden der Komparator 231 durch eine erste Zugehörigkeits-Funktion für laminare Strömung, der Komparator 233 durch eine zweite Zugehörigkeits-Funktion für turbulente Strömung und das NOR-Gatter 235 durch eine dritte Zugehörigkeits-Funktion für gleichzeitig vorliegende laminare und turbulente Strömung ersetzt. Diese Zugehörigkeits-Funktionen sind durch Kalibriermessungen zu ermitteln und liefern einen den ersten, den zweiten bzw. den dritten binären Vergleichs-Wert ersetzenden ersten, zweiten bzw. dritten Zugehörigkeits-Wert, die in einem Wertebereich zwischen null und eins liegen. Der Inverter 236 ist dabei z.B.



durch einen Subtrahierer zu ersetzen, der dann vom Wert eins den dritten Zugehörigkeits-Wert abzieht.

Für Strömungsverhältnisse mit laminaren und mit  
 5 turbulenten Anteilen wird nach Gl.(4) der Korrekturwert  $X_K$  mittels der Interpolations-Funktion  $f(x_{Re})$  interpoliert. Die Interpolations-Funktion  $f(x_{Re})$  läßt sich in üblicher Weise als eine Potenzreihe entwickeln, z.B. mit dem Parameter  $K_2$  als Entwicklungsstelle, so daß für  $f(x_{Re})$   
 10 gilt:

$$f(x_{Re}) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n (x_{Re} - K_2)^n = a_0 + a_1 (x_{Re} - K_2) + a_2 (x_{Re} - K_2)^2 \dots \quad (5)$$

Damit ist die Interpolations-Funktion  $f(x_{Re})$  mittels eines Näherungspolynoms vom Grade  $n$  mit beliebiger Genauigkeit  
 15 realisierbar. Die Koeffizienten  $a_n$  der Interpolations-Funktion  $f(x_{Re})$  sind durch Kalibrierung zu ermitteln.

Soll z.B. das Näherungspolynom nur ersten Grades sein, also  $n = 1$  gelten, so ergibt sich für die entsprechende  
 20 Interpolations-Funktion  $f_1(x_{Re})$  ein linearer Zusammenhang:

$$f_1(x_{Re}) = a_0 + a_1 (x_{Re} - K_2) \quad (6)$$

Unter Berücksichtigung von Gl.(4) ergibt sich für Gl.(6):

$$f_1(x_{Re}) = X_{K2} + \frac{X_{K3} - X_{K2}}{K_3 - K_2} (x_{Re} - K_2) \quad (7)$$

25

In Fig. 5 ist eine vierte Teilschaltung 24 nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt, die die Interpolations-Funktion  $f_1(x_{Re})$  gemäß Gl.(7) realisiert.

30 Die Teilschaltung 24 umfaßt einen ersten Subtrahierer 241 mit einem Subtrahend-Eingang für den Korrekturwert  $X_{K2}$  für

laminare Strömung und mit einem Minuend-Eingang für den Korrekturwert  $X_{K3}$  für turbulente Strömung, der einen ersten Differenz-Wert für  $X_{K3}-X_{K2}$  erzeugt. Ein zweiter Subtrahierer 242 mit einem Subtrahend-Eingang für den Parameter  $K_2$  und  
5 einem Minuend-Eingang für den Parameter  $K_3$  liefert einen zweiten Differenz-Wert für  $K_3-K_2$ . Weiterhin liefert ein dritter Subtrahierer 243 mit einem Subtrahend-Eingang für den Parameter  $K_2$  und mit einem Minuend-Eingang für das Meßsignals  $x_{Re}$  einen dritten Differenz-Wert für  $x_{Re}-K_2$ .

10

Ferner gehören zur Teilschaltung 24 ein erster Dividierer 244 mit einem Dividend-Eingang für den ersten Differenz-Wert und mit einem Divisor-Eingang für den zweiten Differenz-Wert. Der Dividierer 244 gibt einen ersten  
15 Quotient-Wert ab, der dem Ausdruck  $(X_{K3}-X_{K2})/(K_3-K_2)$  entspricht.

Ein fünfter Multiplizierer 245 mit einem ersten Eingang für den ersten Quotient-Wert und mit einen zweiten Eingang  
20 für den dritten Differenz-Wert generiert einen fünften Produkt-Wert für  $(x_{Re}-K_2)(X_{K3}-X_{K2})/(K_3-K_2)$ , der wiederum einem ersten Eingang eines dritter Addierers 246 zugeführt ist. An einem zweiten Eingang des Addierers 246 liegt der Korrekturwert  $X_{K2}$  für laminare Strömung, so daß der  
25 Addierer 246 einen dritten Summen-Wert für  $X_{K2}+(x_{Re}-K_2)(X_{K3}-X_{K2})/(K_3-K_2)$  abgibt. Dieser dritte Summen-Wert entspricht für den Fall  $K_2 \leq x_{Re} \leq K_3$ , also bei Strömungsverhältnissen mit laminaren und mit turbulenten Anteilen, dem gesuchten Korrekturwert  $X_K$ .

30

Außer der Gl.(7) kann der Teilschaltung 24 selbstverständlich auch jedes andere, auf den Gln. (4) und (5) basierende Näherungspolynom zugrundegelegt werden.

Anstatt der in den Fig. 4 und Fig. 5 dargestellten Teilschaltungen 23 bzw. 24 kann die Auswerte-Elektronik 2 auch einen Tabellenspeicher enthalten, in dem diskrete Werte für den Korrekturwert  $X_K$  abgelegt sind. Auf diese  
 5 wird über eine aus dem Meßsignal  $x_{Re}$  abgeleitete digitale Speicheradresse zugegriffen. Die Bildung dieser digitalen Speicheradresse erfolgt mittels eines Analog-Digital-Wandlers und eines diesem nachgeschalteten Codierers. Als Tabellenspeicher kann dabei ein programmierbarer  
 10 Festwertspeicher, also ein EPROM oder ein EEPROM, dienen.

Zur nach Gl.(4) erforderlichen Messung der Reynolds-Zahl dienen folgende Beziehungen:

$$Re = \frac{\rho}{\eta} \cdot D \cdot v_m = \frac{1}{\zeta} \cdot D \cdot v_m \quad (8)$$

15

Darin sind:

$\eta$  die dynamische Viskosität des Mediums und

$\zeta$  die kinematische Viskosität des Mediums.

20 Die mittlere Geschwindigkeit  $v_m$  nach Gl.(1) in Gl.(8) eingesetzt, ergibt für die Reynolds-Zahl:

$$Re = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D} \cdot \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\zeta \cdot \rho} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (9)$$

Nach der Erfindung wird gemäß Gl.(9) entweder die  
 25 dynamische oder die kinematische Viskosität des Mediums zur Generierung des Meßsignals  $x_{Re}$  und damit auch zur Bestimmung des Korrekturwertes  $X_K$  verwendet, da sich beide Viskositäten unter Berücksichtigung der momentanen Dichte  $\rho$  des Mediums ohne weiteres ineinander umrechnen lassen.

30

Durch Einsetzen der entsprechenden Meßsignale in Gl.(9) ergibt sich unter Verwendung der dynamischen Viskosität für das Meßsignal  $x_{Re}$  folgende Beziehung:

$$x_{Re} = \frac{K_4}{x_\eta} \cdot \dot{X}_m, \quad (10)$$

5

Darin sind

$x_\eta$  ein die dynamische Viskosität des Mediums repräsentierendes viertes Meßsignal und

$K_4$  ein aus dem Quotient  $4/\pi D$  abgeleiteter vierter  
10 Parameter.

Die Gln. (10) ist im Meßmittel 143 durch eine fünfte Teilschaltung 25 realisiert, die nach Art eines Blockschalbildes in Fig. 6a dargestellt ist.

15

Die Teilschaltung 25 umfaßt einen zweiten Dividierer 251 mit einem Dividend-Eingang für den Parameter  $K_4$  und mit einem Divisor-Eingang für das Meßsignal  $x_\eta$ . Der Dividierer 251 liefert einen zweiten Quotienten-Wert für  $K_4/x_\eta$ , der  
20 einem ersten Eingang eines sechsten Multiplizierers 252 zugeführt ist. An einem zweiten Eingang des Multiplizierers 252 liegt der Zwischenwert  $\dot{X}_m$ . Der Multiplizierer 252 liefert somit einen sechsten Produkt-Wert, der gemäß Gl.(10) dem Meßsignal  $x_{Re}$  entspricht.

25

Das nach Gl.(10) zur Bestimmung des Meßsignals  $x_{Re}$  erforderliche Meßsignal  $x_\eta$  wird durch ein weiteres viertes Meßmittel 144 erzeugt, vgl. Fig. 2.

30

Zur Ermittlung der dynamischen Viskosität des Mediums können nach Gl.(8) die kinematische Viskosität und die momentane Dichte des Mediums dienen. Unter

Berücksichtigung von Gl.(9) ergibt sich das Meßsignal  $x_\eta$  dann wie folgt:

$$x_\eta = x_\zeta \cdot X_p \quad (11)$$

5    Darin sind

$x_\zeta$             ein die kinematische Viskosität des Mediums  
                 repräsentierendes fünftes Meßsignal und

$X_p$             ein die momentane Dichte des Mediums  
                 repräsentierender zweiter Meßwert.

10

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung gemäß Gl.(11) benutzt das Meßmittel 144 das die kinematische Viskosität des Mediums repräsentierende Meßsignal  $x_\zeta$  zur Generierung des Meßsignal  $x_\eta$ . Dementsprechend weist die

15

Teilschaltung 25, wie in Fig. 6b nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt, einen siebenten Multiplizierer 253 mit einem ersten Eingang für das Meßsignal  $x_\zeta$  und mit einem zweiten Eingang für den Meßwert  $X_p$  auf. Der Multiplizierer 253 liefert als Produkt-Wert das Meßsignal  $x_\eta$ , das dem Divisor-Eingang des Dividierers 251 zugeführt ist. Der Meßwert  $X_p$  ist z.B. aus der momentanen Schwingfrequenz des Meßrohrs 11 abgeleitet, vgl. die eingangs referierte US-A 41 87 721.

20

25

Die zur Generierung des Meßsignal  $x_\zeta$  erforderlichen Maßnahmen werden nachfolgend erläutert. Da die Viskosität eine die innere Reibung des strömenden Mediums beschreibende Größe ist, ist eine Bestimmung der kinematischen Viskosität des Mediums nach Erkenntnissen

30

der Erfinder dadurch möglich, daß die in die Erregeranordnung 13 eingespeiste Erregungsenergie gemessen wird. Aufgrund der inneren Reibung des Mediums werden

nämlich die Schwingungen des durchströmten Meßrohrs 11 in Abhängigkeit von der Viskosität des Mediums, insb. der kinematischen Viskosität, im Vergleich zum leeren Meßrohr 11 zusätzlich bedämpft. Zur Aufrechterhaltung der Schwingungen des Meßrohrs 11 muß der durch die Reibung zusätzlich verursachte Energieverlust durch eine entsprechend erhöhte Erregungsenergie kompensiert werden.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird daher zur Ermittlung des Meßsignal  $x_{\zeta}$  folgende, durch Messungen ermittelte Beziehung verwendet:

$$x_{\zeta} = K_5 \cdot (x_{\text{exc}} - K_6)^2 \quad (12)$$

Darin sind:

- 15  $x_{\text{exc}}$  ein sechstes die in die Erregeranordnung 13 eingespeiste Erregungsenergie repräsentierendes Meßsignal und  
 $K_5, K_6$  ein konstanter fünfter bzw. sechster Parameter.

20 Das Meßsignal  $x_{\zeta}$  ist nach Gln.(11) und (12) ausschließlich von Bestimmungsgrößen abhängig, die im Betrieb von Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern auftreten, nämlich vom Meßwert  $X_p$  und vom die Erregungsenergie repräsentierenden Meßsignal  $x_{\text{exc}}$ .

25 Nach einer Ausgestaltung der Erfindung gemäß Gl.(12) umfaßt das Meßmittel 144 eine sechste Teilschaltung 26, die in Fig. 7 nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt ist.

30 Die Teilschaltung 26 weist einen vierten Subtrahierer 261 mit einem Minuend-Eingang für das die Erregungsenergie repräsentierende Meßsignal  $x_{\text{exc}}$  und mit einem Subtrahend-

Eingang für den Parameter  $K_6$  auf. Ein durch den Subtrahierer 261 gebildeter vierter Differenz-Wert für  $x_{exc}-K_6$  wird an einen Signal-Eingang eines ersten Potenzierers 262 gelegt. An einem Exponent-Eingang liegt  
5 der Wert zwei, so daß der Potenzierer 262 den vierten Differenz-Wert in einen ersten Potenz-Wert für  $(x_{exc}-K_6)^2$  überführt. Der Potenz-Wert wiederum wird einem ersten Eingang eines achten Multiplizierers 263 zugeführt, der aus diesem und aus dem an einem zweiten Eingang liegenden  
10 Parameter  $K_5$  einen achten Produkt-Wert für  $K_5(x_{exc}-K_6)^2$  bildet, der dem Meßsignal  $x_z$  entspricht.

Das die Erregungsenergie repräsentierende Meßsignal  $x_{exc}$  wird mittels Strom- und/oder Spannungsmessung bzw. mittels  
15 Impedanzmessung an der Erregeranordnung gebildet. Bei der beschriebenen Erregeranordnung 13 in Form einer Tauchanker-Spulenordnung wandelt nach einer Ausgestaltung der Erfindung ein Spannungs-Strom-Wandler eine an die Spule gelegte Erreger-Spannung in einen dazu  
20 proportionalen Strom um, von dem wiederum mittels eines nachgeschalteten Effektivwert-Bildners ein Effektivwert abgeleitet wird. Dieser ist dann das die Erregungsenergie repräsentierende Meßsignal  $x_{exc}$ .

25 Anstelle der Messung der Erregerenergie besteht eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der kinematischen Viskosität des Mediums darin, eine Druckdifferenz über einer geeigneten Meßstrecke entlang der Rohrleitung oder entlang des Meßrohrs 11 zu messen und entsprechend  
30 auszuwerten.

Für die kinematische Viskosität gilt nämlich bei überwiegend laminarer Strömung in der Meßstrecke:

$$\zeta = \frac{2\pi \cdot D^4}{L} \cdot \left( \frac{dQ}{dt} \right)^{-1} \cdot \Delta p \quad (13)$$

und bei überwiegend turbulenter Strömung:

$$v = 0,3^{-4} \cdot \frac{D^{19}}{L^4} \cdot \rho^3 \cdot \left( \frac{dQ}{dt} \right)^{-7} \cdot (\Delta p)^4. \quad (14)$$

5

Darin bedeuten:

L die Länge der Meßstrecke und

$\Delta p$  die Druckdifferenz über der Rohrleitungs-Meßstrecke.

- 10 Gl. (13) beruht auf dem bekannten Hagen-Poiseuille Gesetz, während Gl. (14) empirisch ermittelt ist. Beide Gleichungen sind bezüglich der Druckdifferenz monoton wachsende Funktionen, die einen einzigen gemeinsamen Schnittpunkt aufweisen.

15

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden daher zur Ermittlung des Meßsignals  $x_\zeta$  folgende, sich durch Einsetzen der entsprechenden Meßsignale in die Gln. (13) und (14) ergebende Beziehungen verwendet:

$$20 \quad x_\zeta = \begin{cases} X_{\zeta 1} = K_7 \cdot \frac{X_{\Delta p}}{X_m^*} & \text{für } X_{\zeta 1} < X_{\zeta 2} \\ X_{\zeta 2} = K_8 \cdot \frac{(X_{\Delta p})^4}{(X_m^*)^7} \cdot (X_p)^3 & \text{für } X_{\zeta 2} \leq X_{\zeta 1} \end{cases} \quad (15)$$

Darin sind:

$X_{\zeta 1}$  ein die kinematische Viskosität des Mediums bei laminarer Strömung repräsentierender Meßwert,

- 25  $X_{\zeta 2}$  ein die kinematische Viskosität des Mediums bei turbulenter Strömung repräsentierender Meßwert,



- $x_{\Delta p}$  ein die Druckdifferenz repräsentierendes  
siebentes Meßsignal,  
 $K_7$  ein aus dem Quotienten  $2\pi D^4/L$  gemäß Gl. (13)  
abgeleiteter siebenter Parameter und  
5  $K_8$  ein aus dem Quotienten  $0,3^{-4} \cdot D^{19}/L^4$  gemäß Gl. (14)  
abgeleiteter achter Parameter.

Der dann tatsächlich gültige Wert für das Meßsignal  $x_\eta$  ist  
nach Gl. (15) immer genau der kleinere der beiden  
10 ermittelten Meßwerte  $X_{\zeta 1}$  für laminare bzw.  $X_{\zeta 2}$  für  
turbulente Strömung.

Das Meßsignal  $x_\zeta$  ist nach Gl. (15) von Bestimmungsgrößen  
abhängig, die im Betrieb von Coriolis-Massedurchfluß-/  
15 Dichtemessern auftreten, nämlich vom Zwischenwert  $X^*_m$  und  
vom Meßwert  $X_p$ . Außerdem hängt das Meßsignal  $x_\zeta$  von einer  
weiteren Bestimmungsgröße ab, nämlich vom die  
Druckdifferenz repräsentierenden Meßsignal  $x_{\Delta p}$ , die im  
Betrieb ermittelt wird.

20 Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung umfaßt  
entsprechend Fig. 8a und Fig. 8b das Meßmittel 144 eine  
siebente Teilschaltung 27 und entsprechend Fig. 9 eine  
achte Teilschaltung 28 zur Realisierung von Gl. (15).

25 Die Teilschaltung 27 dient der Generierung der beiden die  
Viskosität des Mediums repräsentierenden Meßwerte  $X_{\zeta 1}$ ,  $X_{\zeta 2}$ .  
Dementsprechend weist sie einen dritten Dividierer 271 mit  
einem Dividend-Eingang für das Meßsignal  $x_{\Delta p}$  und mit einem  
30 Divisor-Eingang für den Zwischenwert  $X^*_m$  auf. Der  
Dividierer 271 erzeugt einen dritten Quotient-Wert für  
 $x_{\Delta p}/X^*_m$ , der einem ersten Eingang eines neunten

Multiplizierers 272 zugeführt ist. An einen zweiten Eingang des Multiplizierers 272 ist der Parameter  $K_7$  angelegt, so daß der Multiplizierer 272 einen neunten Produkt-Wert für  $K_7 x_{Ap} / X_m^*$  liefert, der dem die

5 kinematische Viskosität des Mediums bei laminarer Strömung repräsentierenden Meßwert  $X_{\zeta 1}$  entspricht.

Des weiteren umfaßt die Teilschaltung 27 einen zweiten Potenzierer 273 mit einem Signal-Eingang für das Meßsignal

10  $x_{Ap}$  und mit einem Exponent-Eingang für den Wert vier. Der Potenzierer 273 liefert einen zweiten Potenz-Wert für  $(x_{Ap})^4$  und führt diesen einem Dividend-Eingang eines vierten Dividierers 276 zu.

15 Ferner umfaßt die Teilschaltung 27 einen dritten Potenzierer 274 mit einem Signal-Eingang für den Zwischenwert  $X_m^*$  und mit einem Exponent-Eingang für den Wert sieben. Der Potenzierer 274 liefert einen dritten Potenz-Wert für  $(X_m^*)^7$ . Ein vierten Potenzierer 275 mit

20 einem Signal-Eingang für den Zwischenwert  $X_p$  und mit einem Exponent-Eingang für den Wert drei liefert einen vierten Potenz-Wert für  $(X_p)^3$ .

Der dritte Potenz-Wert ist einem Divisor-Eingang des

25 vierte Dividierers 276 zugeführt, während der vierte Potenz-Wert an einem ersten Eingang eines zehnten Multiplizierers 277 liegt. Ferner weist der Multiplizierer 277 einen zweiten Eingang für den Parameter  $K_8$  und einen dritten Eingang für einen vom Dividierer 276 erzeugten

30 vierten Quotient-Wert für  $(x_{Ap})^4 / (X_m^*)^7$  auf. Der Multiplizierer 277 liefert somit einen zehnten Produkt-Wert für  $K_8 \cdot (X_p)^3 \cdot (x_{Ap})^4 / (X_m^*)^7$ , der dem die kinematische

Viskosität des Mediums bei turbulenter Strömung repräsentierenden Meßwert  $X_{\zeta 2}$  entspricht.

- Die achte Teilschaltung 28 entsprechend Fig. 9 dient der Realisierung der beiden Ungleichungen gemäß Gl.(15). Die Teilschaltung 28 umfaßt einen dritten Komparator 281 mit einem ersten Eingang für den neunten Produkt-Wert und mit einem zweiten Eingang für den zehnten Produkt-Wert. Der Komparator 281 erzeugt einen fünften Vergleichs-Wert für
- 5  $K_7 X_{\Delta p} / X_m^* < K_8 X_p (X_{\Delta p})^4 / (X_m^*)^7$ , der gleich eins ist, wenn der neunte Produkt-Wert kleiner als der zehnte Produkt-Wert ist; anderenfalls ist der fünfte Vergleichs-Wert gleich null.
- 10
- 15 Der fünfte Vergleichs-Wert ist einem zweiten Inverter 282 zugeführt und liegt außerdem an einem ersten Eingang eines elften Multiplizierers 283. An einem zweiten Eingang des Multiplizierers 283 liegt der neunte Produkt-Wert, so daß der Multiplizierer 283 einen elften Produkt-Wert liefert,
- 20 der gleich dem neunten Produkt-Wert ist, wenn der fünfte Vergleichs-Wert gleich eins ist, oder der gleich null ist, wenn der fünfte Vergleichs-Wert null ist.
- Der Inverter 282 liefert einen sechsten Vergleichs-Wert,
- 25 der zum fünften Vergleichs-Wert invertiert ist und der einem ersten Eingang eines zwölften Multiplizierers 284 zugeführt ist. An einem zweiten Eingang des Multiplizierers 284 liegt der zehnte Produkt-Wert, so daß der Multiplizierer 284 einen zwölften Produkt-Wert
- 30 liefert, der gleich dem zehnten Produkt-Wert ist, wenn der sechste Vergleichs-Wert gleich eins ist, oder der gleich null ist, wenn der sechste Vergleichs-Wert null ist.

Der elfte Produkt-Wert ist einem ersten Eingang eines vierten Addierers 285 und der zwölfte Produkt-Wert einem zweiten Eingang des Addierers 285 zugeführt. Da gleichzeitig immer nur einer der beiden Produkt-Werte  
5 ungleich null ist, ist ein vom Addierer 285 gelieferter vierter Summen-Wert gleich dem Meßsignal  $x_4$ .

Ein möglicher Unterschied zwischen der nach Gl.(15) ermittelten und der im Meßrohr 11 tatsächlich vorhandenen  
10 kinematischen Viskosität, der z.B. auf den Einfluß von Temperaturunterschieden im Medium zurückzuführen ist, läßt sich durch entsprechende Temperaturmessungen ohne weiteres kompensieren.

15 Die Teilschaltungen 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 und 28 sind als analoge Rechenschaltungen vorausgesetzt, können jedoch mindestens teilweise als digitale Rechenschaltungen mit diskreten Komponenten oder mit einem Mikroprozessor realisiert sein.

20

Im Falle, daß der Betrieb der praktisch parallel arbeitenden Teilschaltungen 22...28 zeitunkritisch ist, können gleichartige Funktionen wie addieren, subtrahieren, multiplizieren, dividieren bzw. potenzieren ggf. mittels  
25 Multiplexern bzw. Demultiplexern derart zusammengefaßt werden, daß diese Funktionen jeweils nur einmal in einer Teilschaltung realisiert sind und die Generierung der einzelnen errechneten Werte durch eine sequentielle Beschaltung der Eingänge mit den entsprechenden Eingangs-  
30 Werten erfolgt.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium, der umfaßt:
- mindestens ein Meßrohr (11), das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
  - ein Trägermittel (12), das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs (11) fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
  - eine Erregeranordnung (13), die das Meßrohr (11) im Betrieb in Schwingungen versetzt,
  - ein erstes Meßmittel (141) zum Messen der Schwingungen, das
    - einlaßseitig am Meßrohr (11) angeordnet ist und
    - ein erstes Meßsignal ( $x_{s1}$ ) liefert,
  - ein zweites Meßmittel (142) zum Messen der Schwingungen, das
    - auslaßseitig am Meßrohr (11) angeordnet ist und
    - ein zweites Meßsignal ( $x_{s2}$ ) liefert,
  - ein drittes Meßmittel (143),
    - das ein die momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierendes drittes Meßsignal ( $x_{Re}$ ) liefert, und
  - eine Auswerte-Elektronik (2), die
    - einen vom ersten, vom zweiten und vom dritten Meßsignal ( $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ ,  $x_{Re}$ ) abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden ersten Meßwert ( $X_m$ ) sowie
    - einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal ( $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ ) abgeleiteten, eine momentane Dichte des Mediums repräsentierenden zweiten Meßwert ( $X_p$ ) liefert.

2. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 1, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) einen vom dritten Meßsignal ( $x_{Re}$ ) abgeleiteten Korrekturwert ( $X_K$ ) liefert.
- 5 3. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 2, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) den Korrekturwert ( $X_K$ ) -mittels eines durch Kalibrierung ermittelten konstanten Korrekturwerts ( $X_{K2}$ ) für laminare Strömung,  
-mittels eines durch Kalibrierung ermittelten konstanten  
10 Korrekturwerts ( $X_{K3}$ ) für turbulente Strömung und  
-mittels eines nach einer zwischen den beiden konstanten Korrekturwerten ( $X_{K2}$ ,  $X_{K3}$ ) liegenden Interpolations-Funktion ermittelten interpolierten Korrekturwerts liefert.
- 15 4. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 2, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) einen Tabellenspeicher aufweist,  
- in dem von der Reynolds-Zahl abhängige digitalisierte  
20 Korrekturwerte abgelegt sind, und  
- der mittels einer aufgrund des dritten Meßsignals ( $x_{Re}$ ) gebildeten digitalen Speicherzugriffsadresse den Korrekturwert ( $X_K$ ) liefert.
- 25 5. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal ( $x_{s1}$ ,  $x_{s2}$ ) abgeleiteten, unkorrigierten Massedurchfluß repräsentierenden Zwischenwert ( $X^*_m$ ) liefert.

6. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 5, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) den ersten Meßwert ( $X_m$ ) aufgrund des Zwischenwerts ( $X_m^*$ ) und des Korrekturwerts ( $X_k$ ) liefert.

5

7. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 6, der ein viertes Meßmittel (144) umfaßt, das eine dynamische Viskosität des Mediums erfaßt und ein diese repräsentierendes viertes Meßsignal ( $x_\eta$ ) liefert.

10

8. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 7, bei dem das dritte Meßmittel (143) aufgrund des unkorrigierten Zwischenwerts ( $X_m^*$ ) und des vierten Meßsignals ( $x_\eta$ ) das dritte Meßsignal ( $x_{Re}$ ) liefert.

15

9. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 7, bei dem das vierte Meßmittel (144) eine kinematische Viskosität des Mediums erfaßt und ein diese repräsentierendes fünftes Meßsignal ( $x_\zeta$ ) liefert.

20

10. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach den Ansprüchen 8 und 9, bei dem das vierte Meßmittel (144) das vierte Meßsignal ( $x_\eta$ ) aufgrund des zweiten Meßwerts ( $X_p$ ) und des fünften Meßsignals ( $x_\zeta$ ) liefert.

25

11. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 9 oder 10, bei dem die Erregeranordnung (13) eine Spule aufweist, die mit einer Erregerenergie gespeist ist, von deren Strom und/oder von deren Spannung das vierte Meßmittel (144) das vierte Meßsignal ( $x_\eta$ ) und/oder das fünfte Meßsignal ( $x_\zeta$ ) ableitet.

30

12. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 9 oder 10, bei dem das vierte Meßmittel (144) das vierte Meßsignal ( $x_\eta$ ) und/oder das fünfte Meßsignal ( $x_\zeta$ ) von einer entlang der Rohrleitung gemessenen Druckdifferenz ableitet.

13. Verfahren zum Erzeugen eines einen Massedurchfluß eines in einer Rohrleitung strömenden Mediums repräsentierenden ersten Meßwerts ( $X_m$ ) mittels eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers, der umfaßt:
- mindestens ein Meßrohr (11), das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
  - ein Trägermittel (12), das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs (11) fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt, und
  - eine Erregeranordnung (13), die das Meßrohr (11) im Betrieb in Schwingungen versetzt, und
- welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:
- Erfassen der Schwingungen des Meßrohrs (11) und Erzeugen eines einlaßseitige Schwingungen repräsentierenden ersten Meßsignals ( $x_{s1}$ ) und eines auslaßseitige Schwingungen repräsentierenden zweiten Meßsignals ( $x_{s2}$ ) zum Entwickeln eines einen unkorrigierten Massedurchfluß repräsentierenden Zwischenwertes ( $X^*_m$ ),
  - Erzeugen eines eine momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierenden dritten Meßsignals ( $x_{Re}$ ) mittels des Zwischenwertes ( $X^*_m$ ) und mittels eines eine dynamische Viskosität des Mediums repräsentierenden vierten Meßsignals ( $x_\eta$ ) sowie
  - Korrigieren des Zwischenwertes ( $X^*_m$ ) mittels eines vom dritten Meßsignal ( $x_{Re}$ ) abgeleiteten Korrekturwertes ( $X_K$ ).



14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das vierte Meßsignal ( $x_n$ ) von einem Strom und/oder von einer Spannung einer in die Erregeranordnung (13) eingespeisten Erregerenergie abgeleitet wird.

5

15. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das vierte Meßsignal ( $x_n$ ) von einer entlang der Rohrleitung gemessenen Druckdifferenz abgeleitet wird.

1/7

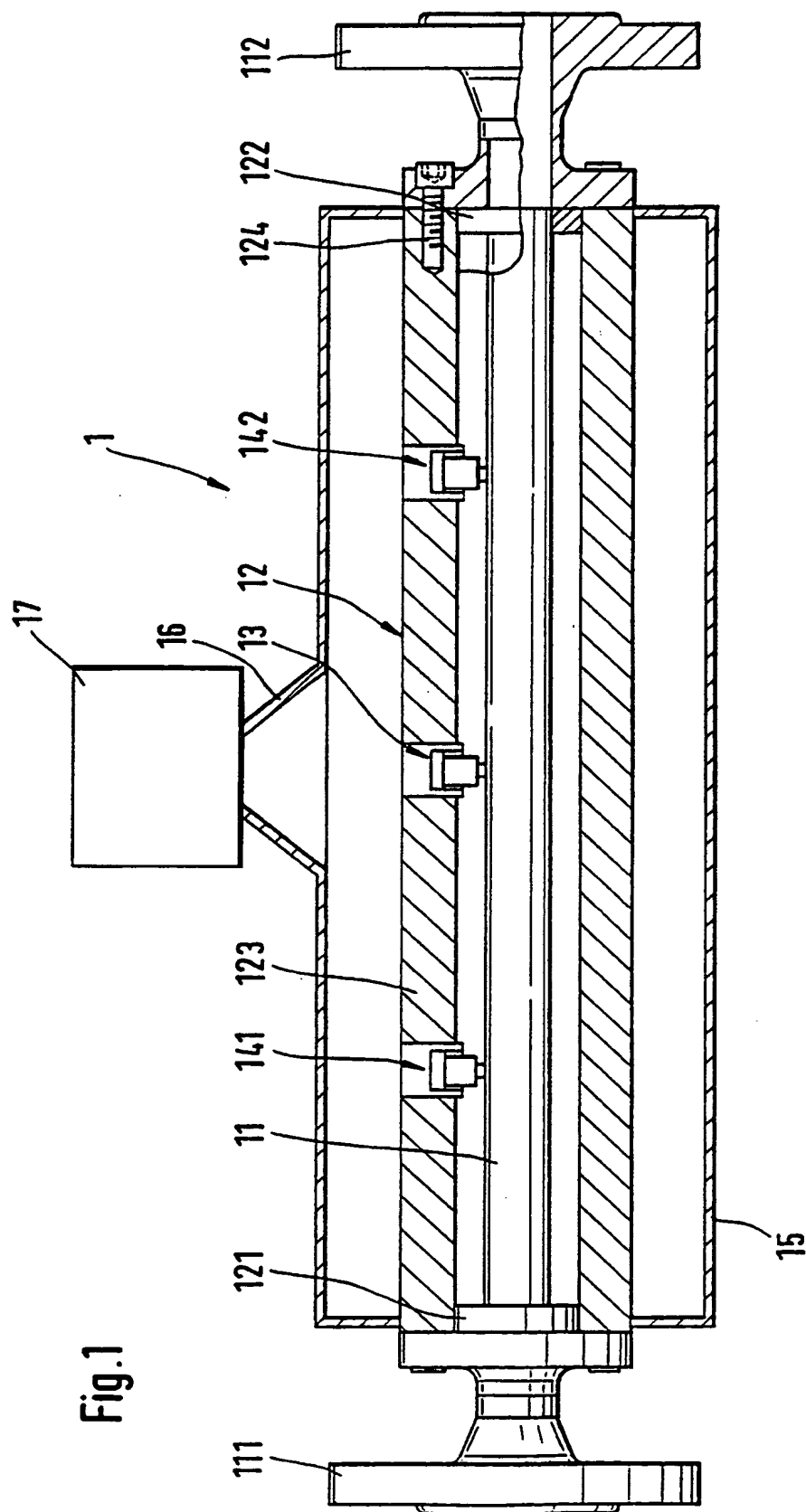


Fig.1

2/7

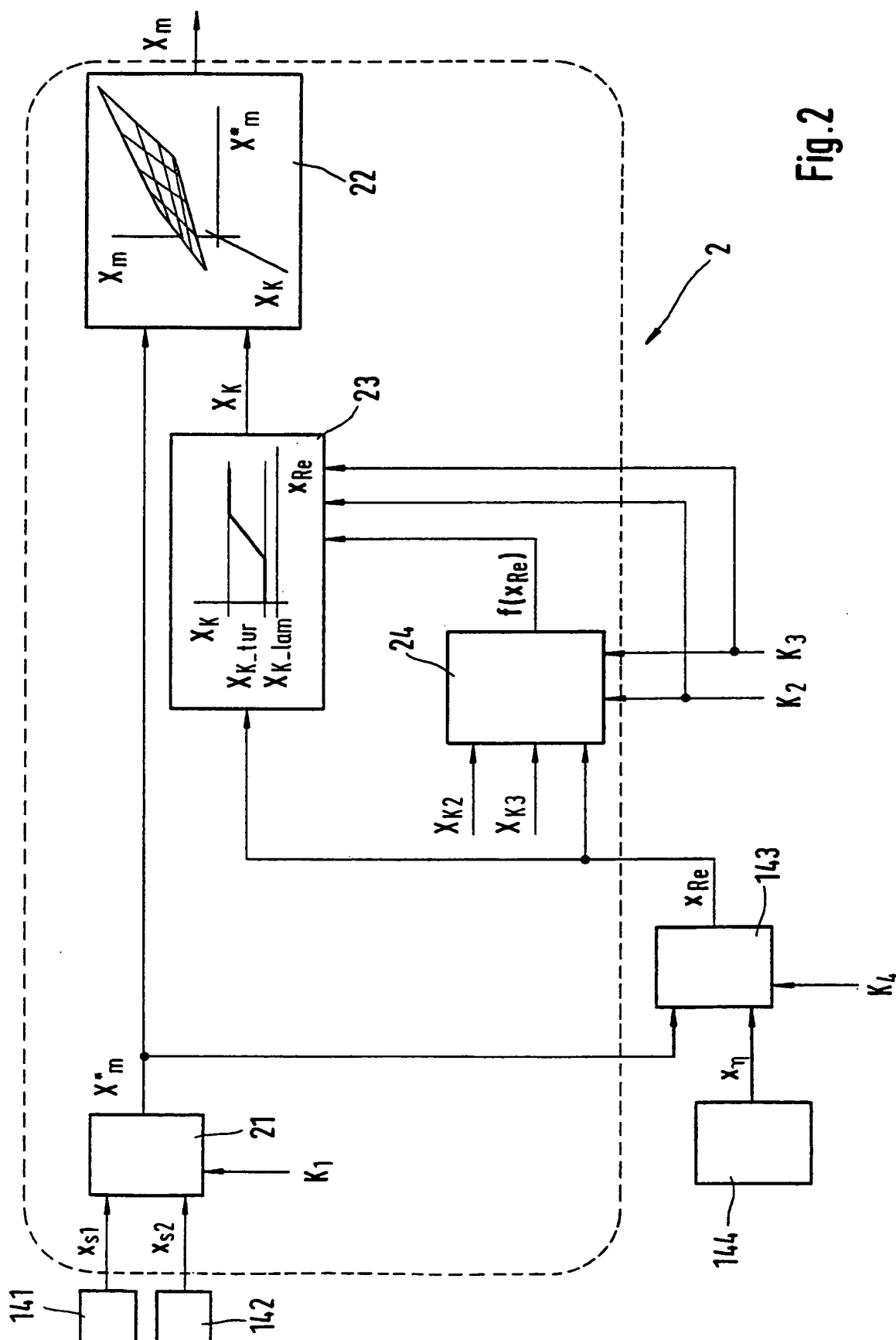
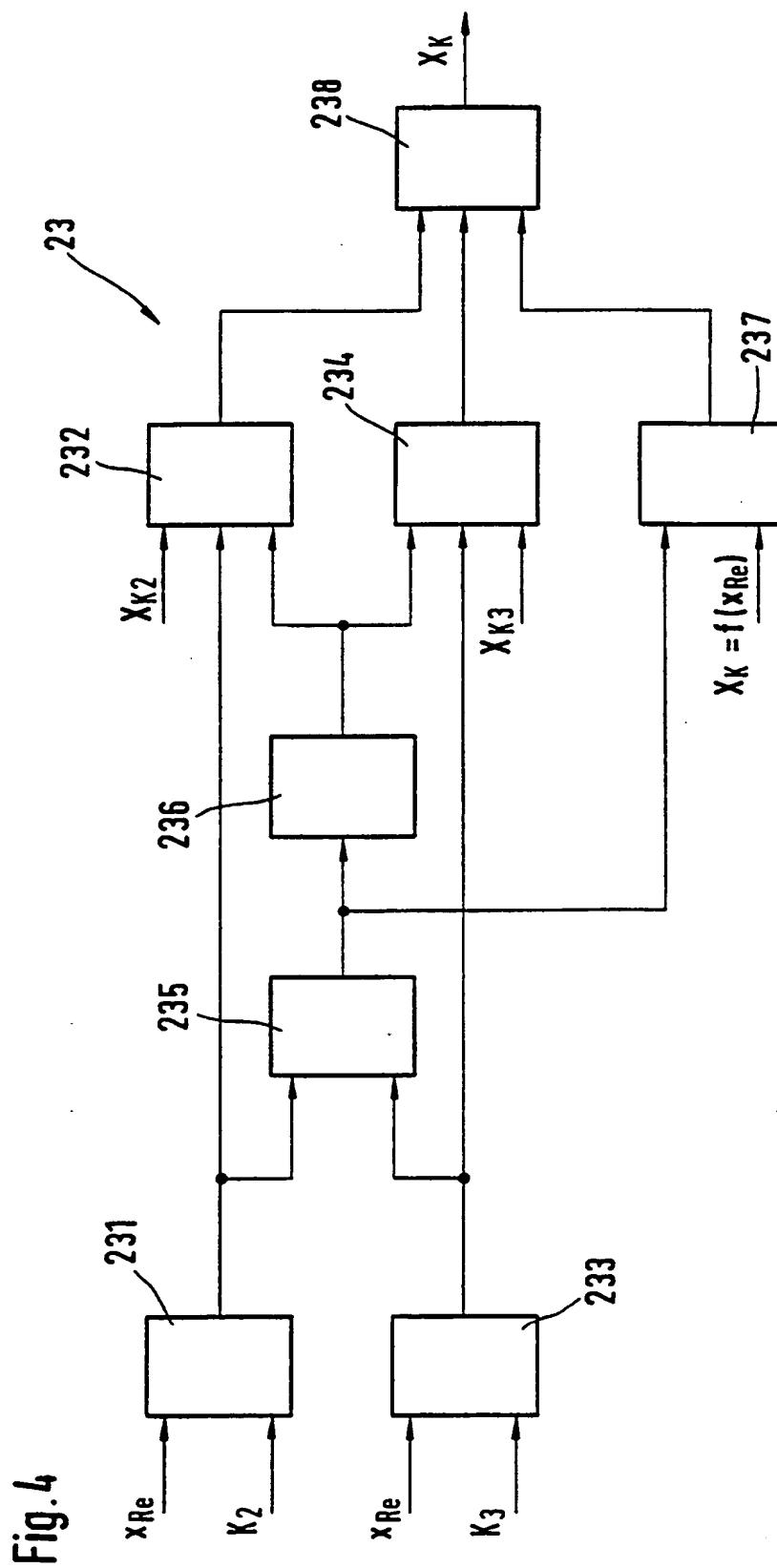
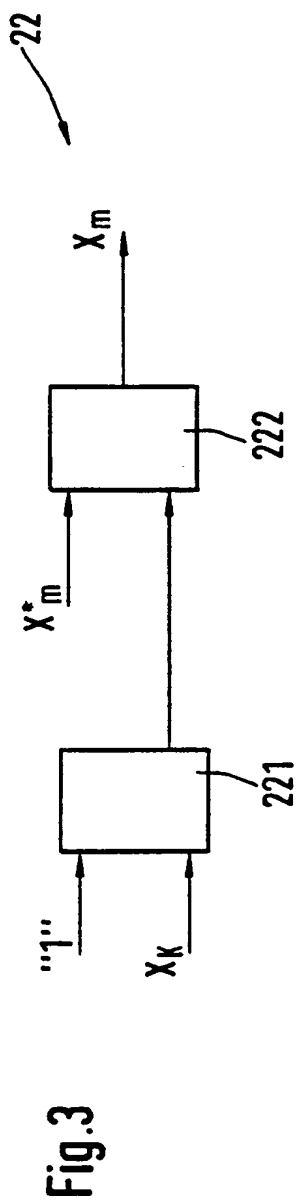


Fig. 2



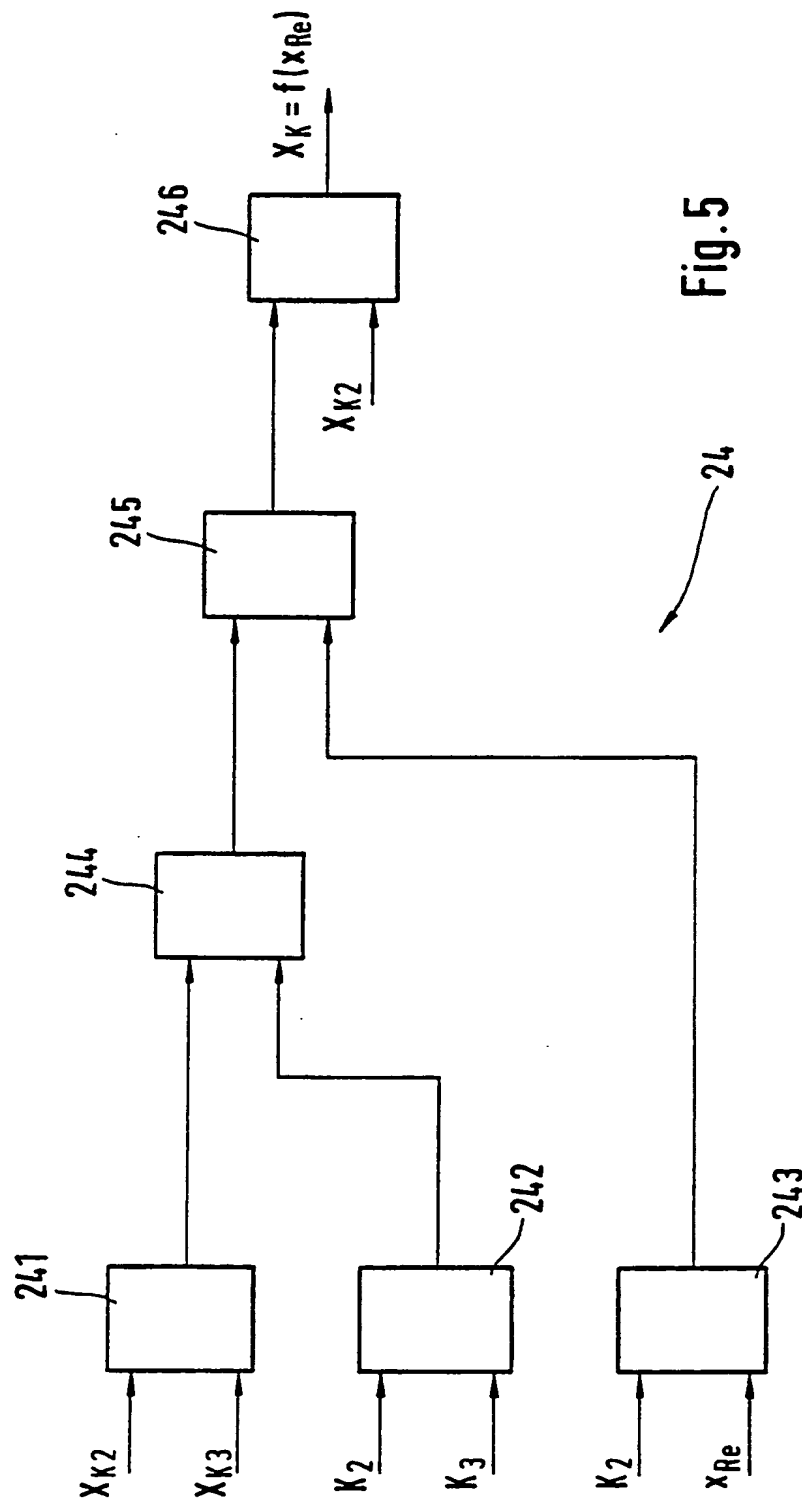


Fig. 5

5/7

Fig. 6a

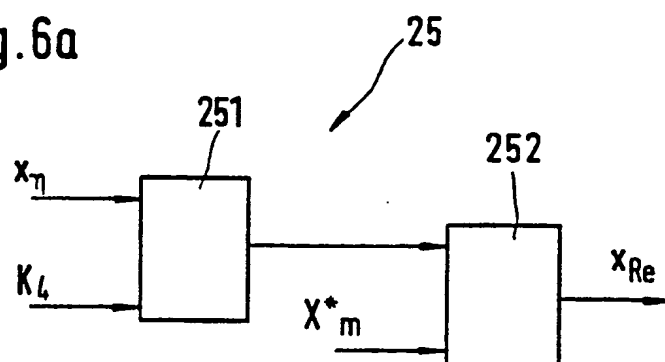


Fig. 6b

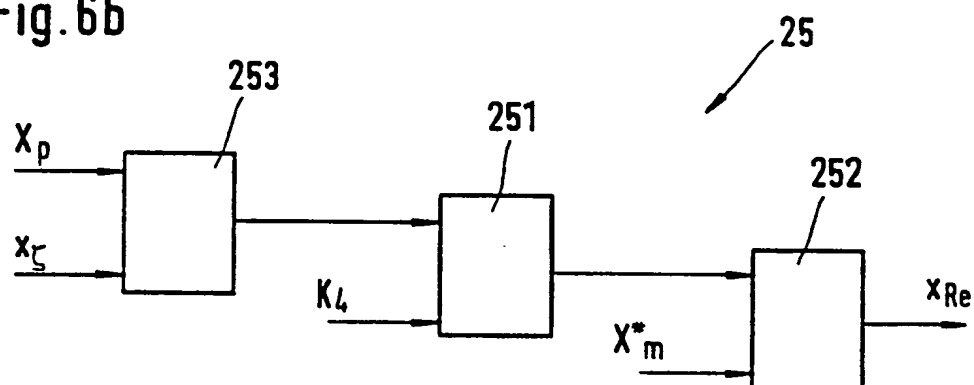
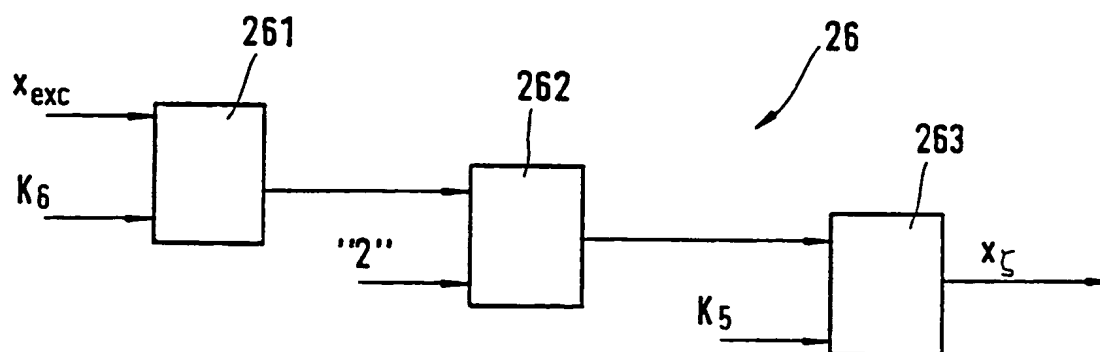


Fig. 7



6/7

Fig.8a

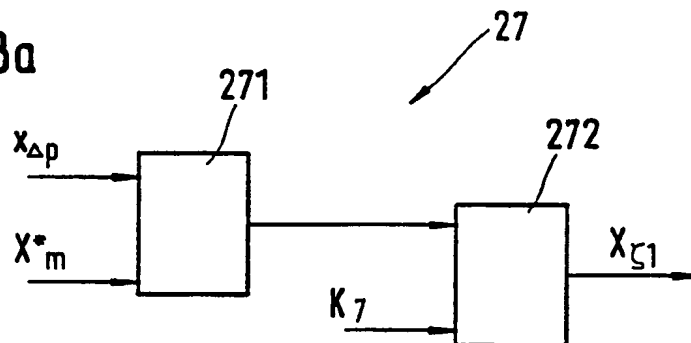


Fig.8b

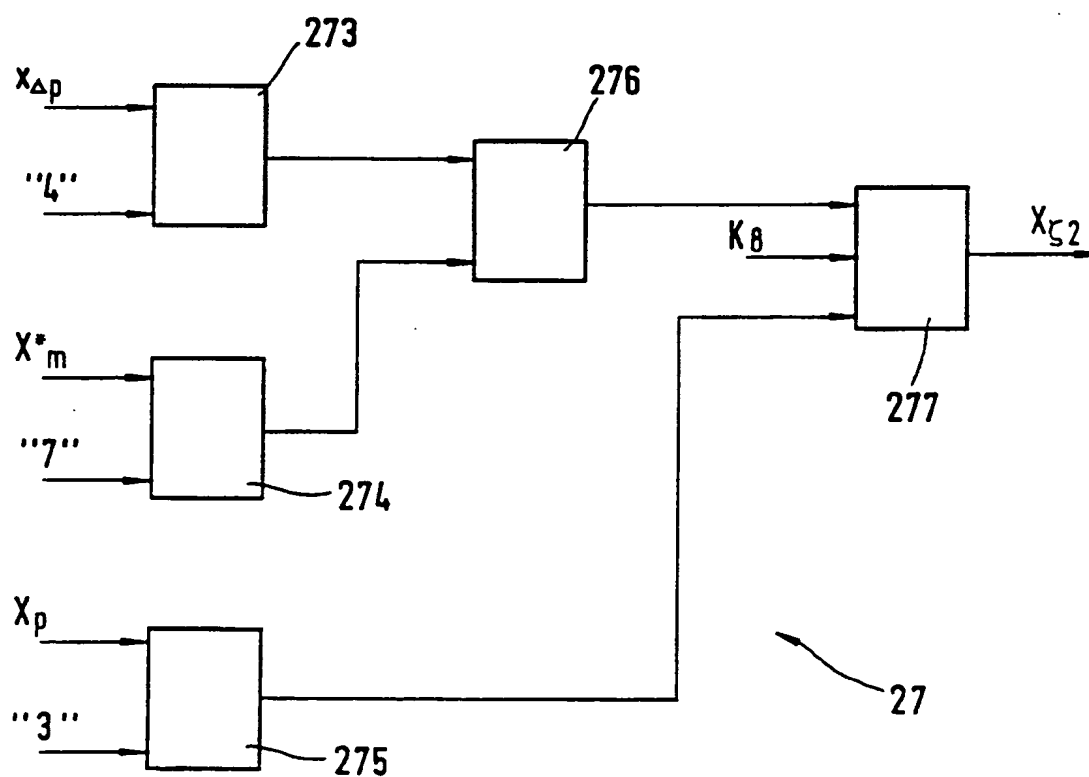
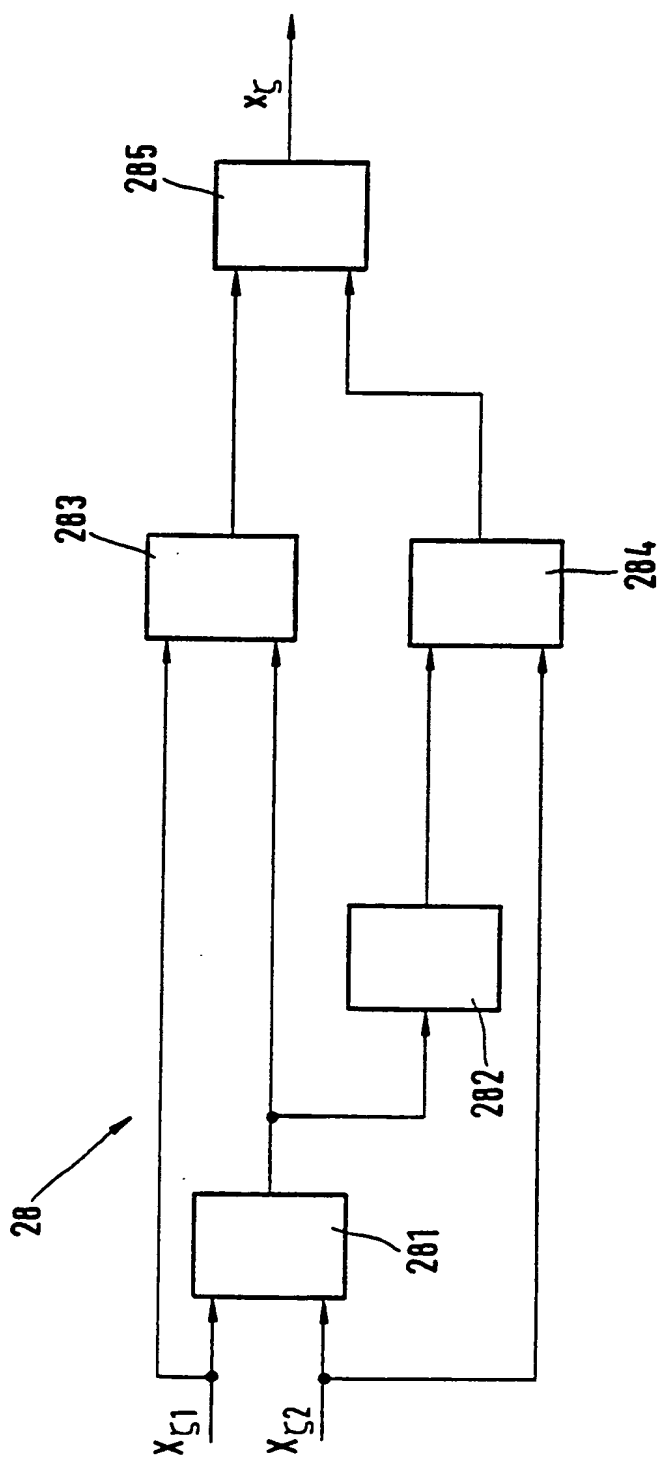


Fig. 9





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/09166

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01F1/84

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01F G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 736 653 A (DRAHM WOLFGANG ET AL) 7 April 1998 (1998-04-07) column 3 -column 6; figure 1 ----	1-15
A	WO 97 26509 A (MICRO MOTION INC) 24 July 1997 (1997-07-24) page 5, paragraph 3 page 12, paragraph 2; figure 5 ----	1-15
A	US 5 576 487 A (GIMSON CHRISTOPHER J) 19 November 1996 (1996-11-19) column 7, paragraph 2; figure 8 ----	1-15
A	DE 36 08 406 A (ROTA KG) 17 September 1987 (1987-09-17) column 4, line 27 -column 6, line 50; figure 2 -----	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 April 2000

Date of mailing of the international search report

28/04/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fenzl, B

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/09166

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5736653 A	07-04-1998	EP 0754934 A	22-01-1997
		JP 2866060 B	08-03-1999
		JP 9033309 A	07-02-1997
WO 9726509 A	24-07-1997	AU 1579797 A	11-08-1997
		BR 9706984 A	20-07-1999
		CA 2241934 A	24-07-1997
		CN 1213431 A	07-04-1999
		EP 0874976 A	04-11-1998
		US 5861561 A	19-01-1999
US 5576487 A	19-11-1996	GB 2263776 A	04-08-1993
		AU 2884392 A	01-09-1993
		DE 69229799 D	16-09-1999
		EP 0624242 A	17-11-1994
		WO 9315381 A	05-08-1993
DE 3608406 A	17-09-1987	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/09166

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01F1/84

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01F G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 736 653 A (DRAHM WOLFGANG ET AL) 7. April 1998 (1998-04-07) Spalte 3 -Spalte 6; Abbildung 1	1-15
A	WO 97 26509 A (MICRO MOTION INC) 24. Juli 1997 (1997-07-24) Seite 5, Absatz 3 Seite 12, Absatz 2; Abbildung 5	1-15
A	US 5 576 487 A (GIMSON CHRISTOPHER J) 19. November 1996 (1996-11-19) Spalte 7, Absatz 2; Abbildung 8	1-15
A	DE 36 08 406 A (ROTA KG) 17. September 1987 (1987-09-17) Spalte 4, Zeile 27 -Spalte 6, Zeile 50; Abbildung 2	1-15

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. April 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

28/04/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Fenzl, B

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/09166

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5736653 A	07-04-1998	EP 0754934 A JP 2866060 B JP 9033309 A	22-01-1997 08-03-1999 07-02-1997
WO 9726509 A	24-07-1997	AU 1579797 A BR 9706984 A CA 2241934 A CN 1213431 A EP 0874976 A US 5861561 A	11-08-1997 20-07-1999 24-07-1997 07-04-1999 04-11-1998 19-01-1999
US 5576487 A	19-11-1996	GB 2263776 A AU 2884392 A DE 69229799 D EP 0624242 A WO 9315381 A	04-08-1993 01-09-1993 16-09-1999 17-11-1994 05-08-1993
DE 3608406 A	17-09-1987	KEINE	